

Le simulateur de feu : un outil pour faire un réel “bond en avant”

par Isabelle LAGARDE*

Quelle largeur et quelle position doivent avoir les grandes coupures d'un massif forestier pour être “étanches” aux feux propagés par le Mistral ? Quelle surface maximale doivent couvrir les patrouilles forestières les jours de risque très sévère pour que leur première intervention permette de maîtriser le feu en attendant l'arrivée des secours ? Quelles sont les zones à haut risque d'un massif forestier à surveiller en priorité ?

Autant de questions, autant d'inconnues : l'incendie de forêt est un phénomène complexe pour lequel il est difficile de faire - pour l'instant - de l'expérimentation en vraie grandeur. De ce fait, les décisions prises pour la défense de la forêt méditerranéenne contre l'incendie s'appuient rarement sur des bases solides. Au mieux sur l'expérience, au pire sur le hasard... des financements.

Certains actes révèlent simplement du bon sens. Mais, de l'avis de la plupart des experts, chercheurs ou gestionnaires, s'orienter vers une plus grande maîtrise de l'événement, suppose d'abord de pouvoir le prédire. La clé du problème tient en grande partie en un mot : simulation. **Le simulateur de feu s'avère être l'outil actuellement manquant pour conduire une véritable stratégie de protection de la forêt dans chaque massif.** C'est le passage obligé pour faire un réel

“bond en avant” dans tous les domaines de la D.F.C.I. et mettre en valeur tout l'acquis de ces dernières années. Imaginerait-on de nos jours la construction d'un pont sans méthode de calcul de la résistance des matériaux ?

Fort de cette analyse, un projet industriel a vu le jour début 1991, visant 3 niveaux d'utilisation :

1. à court terme, la formation des personnels (apprentissage, répétitions, “manoeuvres”), occasion pour tous de “parler un langage commun”, avec un niveau de précision pouvant être assez modeste,

2. à moyen terme, l'aménagement forestier (équipement du terrain, installation de grandes coupures,...), avec un niveau de précision plus élevé,

3. à long terme, l'opérationnel (aide à la décision), avec un niveau de précision très élevé.

Ce projet est maintenant bien avancé puisque que la **deuxième version du logiciel de simulation** vient de sortir pour être installée au C.I.F.S.C. de Valabre.

Un programme de recherche prometteur

Si le recueil de données ou la création d'une interface utilisateur n'ont pas présenté de difficulté majeure, il s'est très vite avéré, par contre, que **les modèles de propagation disponibles sur le marché étaient assez**

peu adaptés aux conditions méditerranéennes.

Fin 1991, devant ce constat, un projet de recherche pluridisciplinaire a été élaboré au plus haut niveau. 10 laboratoires publics ou privés, aux compétences parfaitement complémentaires, appartenant à 5 pays d'Europe, participent à ce projet : ARMINES, Association d'analyse spatiale, CERMICS, D.I.F.T., F.I.S.B.A.T., GEOIMAGE, I.N.R.A., M.A.I.C.H., M.T.D.A., Université de Liège.

S'il rassemble quelques unes des meilleures équipes européennes spécialisées dans les différents domaines intervenant dans la modélisation, c'est parce qu'il est capital pour sa réussite de réunir toutes les compétences nécessaires pour prendre en compte l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques influant sur le comportement d'un incendie. On se trouve, en effet, à la croisée de plusieurs domaines scientifiques ou techniques :

- la physique (phénomènes de combustion, mécanique des fluides,...),
- la météorologie (prévision du risque, modélisation du vent,...),
- la biologie (milieu végétal),
- la protection contre le feu (aménagement forestier, lutte contre les incendies,...),
- l'informatique (éléments finis, traitement des images, interface,...).

Arrivé en tête de toutes les propositions transmises à la Commission des Communautés Européennes (cocrico!), le projet a l'objectif ambitieux **de développer avant fin 1994 des modèles de comportement des feux**

* Agence M.T.D.A. Conseil en Environnement
298 Av. du Club Hippique
13098 Aix-en-Provence

de végétation adaptés aux conditions européennes.

Au plan scientifique, il présente l'originalité de conduire les recherches dans deux directions complémentaires :

1. la prise en compte des connaissances existantes, qu'elles portent sur l'identification de la situation ou sur les connaissances des phénomènes physiques mis en jeu, et des modèles numériques disponibles,

2. la mise au point d'un ensemble de modèles représentatifs des différents phénomènes intervenant dans la modélisation des incendies de forêts : climatologie (et plus particulièrement aérologie à petite échelle), comportement du feu (combustion et transfert d'énergie ou de matière), effets des moyens de lutte (troupes au sol, moyens aériens).

Identification des situations

L'approche proposée consiste à reprendre la logique utilisée par un expert face à la multiplicité d'échelles d'espace et de temps présentes dans les phénomènes naturels : identification de la situation, émission d'hypothèses, recherche de modèles pertinents, application. Si le résultat n'est pas satisfaisant, il fera d'autres hypothèses qui correspondront à une nouvelle combinaison de modèles.

Pour ce faire, les connaissances sont d'abord collectées et structurées, qu'elles proviennent des experts en modélisation ou des experts physiologistes ou biologistes. Ces connaissances se répartissent en 3 groupes : identification des situations (végétation, terrain, climat), association des phénomènes physiques aux situations, association de modèles numériques aux phénomènes physiques.

A partir de ces connaissances, une méthodologie permet : (1) l'identification de la situation (par décomposition en situations élémentaires connues), (2) l'assemblage des modèles numériques correspondants permettant de traiter une situation donnée.

Cette architecture basée sur les connaissances permet de justifier les raisonnements suivis et de guider les experts dans la remise en cause d'un raisonnement, lorsque les résultats de la simulation diffèrent notablement des observations faites en laboratoire ou sur le terrain.

Modélisation des phénomènes

1. Modélisation du combustible

La prévision du comportement des feux au travers des modèles de propagation dépend fortement d'une connaissance détaillée du combustible. Ne pouvant appréhender avec précision en chaque point d'un massif forestier tous les paramètres utiles, il est nécessaire d'établir une typologie du combustible. Pour que celle-ci soit générique et transposable à l'ensemble des formations végétales européennes, elle doit : reposer sur des bases biologiques et physiques ; être conduite avec une méthode identique.

Dans un premier temps, les différentes méthodes existantes sont confrontées afin de mettre au point un protocole commun sur l'ensemble des massifs pilotes retenus. Ce protocole commun d'échantillonnage doit être conçu de telle manière qu'il permette de passer de la façon la plus simple possible de la "particule" élémentaire que représente la feuille ou le rameau, à la forêt toute entière. Lors des phases d'échantillonnage de terrain, l'évolution dans le temps de la végétation est prise en compte : stades phénologiques, interaction avec l'atmosphère, âge,...

La typologie est réalisée par analyse statistique multivariée (analyse factorielle des correspondances, classification ascendante hiérarchique,...) en utilisant la notion de "macro-particule" (volume de végétation contenant une quantité de "particules" de chaque type, selon un certain agencement).

2. Modélisation de la combustion

Deux grands types de modèles de propagation des incendies de forêts ont été développés dans le monde : (1) les modèles déterministes, privilégiant les processus physiques de combustion et paramétrés sur la base d'expérimentations contrôlées ; (2) les modèles statistiques, mis au point par ajustement d'équations sur échantillon de feux réels.

L'analyse des modèles existants (modèles physiques, hypothèses et systèmes d'équations mathématiques qui en résultent, méthodes numériques utilisées dans les codes informatiques pour résoudre ces équations de manière approchée) est réalisée sous différents aspects : domaine physique

de validité, propriétés qualitatives, qualité et capacité des méthodes numériques.

En fonction des résultats obtenus, de nouveaux modèles mathématiques spécifiques aux feux de forêts sont à développer, basés sur les modèles existants et sur des données expérimentales.

3. Modélisation du vent

Des modèles de vent et de champs de turbulence en terrain accidenté sont disponibles à différents niveaux de complexité. Si la plupart des caractéristiques du champ de vent moyen sont prises en compte dans les modèles linéaires (appropriés aux écoulements des couches limites en terrain peu vallonné), les champs de turbulence ne sont que partiellement décrits. En présence de fortes pentes, la description complète n'est, en outre, qu'approchée avec des modèles non linéaires sophistiqués.

Les conditions météorologiques de la région méditerranéenne méritent une attention particulière pour la modélisation de phénomènes correspondant à certaines situations atmosphériques. Les caractéristiques topographiques complexes, les importants flux diabatiques, la forte variabilité saisonnière et spatiale, par exemple, doivent être pris en compte lors de la modélisation de l'évolution des couches limites de l'atmosphère et ses propriétés climatologiques.

Un état de l'art, focalisé sur les aspects mathématiques et numériques, est conduit sur les modèles et les codes existants pour la simulation des flux atmosphériques sur des terrains complexes, en l'absence de feu, en étudiant la possibilité de relier ces modèles à des bases de données géographiques, notamment en ce qui concerne les modèles numériques de terrain.

Par la suite, deux sous-objectifs sont à distinguer :

1. établir des modèles de prévision de vent, de champs de turbulence, utilisables pour les besoins opérationnels, à petite échelle (quelques kilomètres). Ces modèles doivent aussi permettre la production d'estimation climatiques des paramètres appropriés (vent, rafales, température,...), sur la base des données météorologiques disponibles. Les modèles existants sont stationnaires et applicables aux

conditions adiabatiques et aux terrains faiblement vallonnés. L'objectif est d'étendre les conditions d'application aux situations réalistes. Par ailleurs, ces modèles sont simples, rapides et économiques à utiliser ; aussi, on peut proposer leur utilisation au niveau local. Ces caractéristiques seront maintenues dans les développements prévus, en faisant face à certaines instabilités des champs de force externes.

2. tester les modèles avancés (modèles non linéaires basés sur différents champs de turbulence) pour améliorer la connaissance de l'effet sur le vent des incendies de forêts de grande taille. Pour surmonter les limites des modèles précédemment décrits, des modèles non linéaires sont indispensables pour résoudre les équations de Reynolds, avec des modèles appropriés pour les turbulences. Des modèles de ce type peuvent être employés pour évaluer l'influence des importants flux de chaleur dus aux incendies, sur le vent et les champs de turbulence près du feu lui-même. D'aussi importants dégagements de chaleur seront analysés comme source de mouvement des masses d'air, afin d'améliorer la connaissance de ces interactions. Pour ce faire, le couplage entre les premiers modèles issus uniquement de la mécanique des fluides et ceux provenant de la modélisation de la combustion est prospecté, peut-être seulement pour des modèles de

feux simples. La réussite de l'opération est étroitement liée à l'utilisation de données pour la validation du modèle de simulation global obtenu.

Validation des résultats

Dans le cadre de ce projet, 5 méthodes complémentaires de validation des résultats ont été retenues :

1. *Validation en laboratoire.* Pour compléter l'évaluation des modèles existants, un test des différentes variables du modèle FIRE 1 est nécessaire. Certaines hypothèses du modèle (stationnarité, homogénéité) sont en effet à vérifier. Son domaine de validité est à déterminer en ce qui concerne les limites de teneur en eau et la quantité de combustible. Par la suite, les modèles élaborés seront testés lors d'opérations expérimentales sur banc de combustible.

2. *Validation climatique.* Une validation des modèles topoclimatiques sera réalisée par confrontation des résultats avec les situations réelles observées sur le terrain.

3. *Validation sur incendies passés.* Le recueil des informations disponibles sur des feux passés dont la propagation a été presque libre sera faite sur les différents massifs pilotes.

4. *Validation sur brûlages contrôlés.* En fonction des autorisations obtenues auprès des administrations de chaque Etat, des brûlages contrôlés se-

ront réalisés sur les différents massifs pilotes.

5. *Validation sur incendies réels.* Par nature, cette validation est beaucoup plus délicate, compte tenu du caractère aléatoire (dans le temps et dans l'espace) des surfaces brûlées et de la difficulté d'enregistrer correctement certaines données. Dans la mesure du possible, les partenaires concernés par la typologie du combustible essaieront de récolter le maximum de données sur les feux ayant éclaté dans les massifs pilotes les concernant.

Intégration des résultats

L'ensemble des informations et des résultats obtenus par les participants à ce projet (données sur le combustible, modèles de propagation, architecture de gestion de ces informations,...) sera intégré de manière à réaliser un outil commun de validation des résultats.

Pour cela, les bases de données nécessaires sur les massifs pilotes retenus seront réalisées à partir d'images satellites, notamment pour ce qui concerne le relief et l'occupation du sol. Le traitement de toutes les informations sera réalisé sur écran, de façon à permettre les simulations nécessaires, lors de la validation des modèles et leur confrontation aux données enregistrées (brûlages, incendies,...).

I.L.

L'ensemble de ces méthodes peut être utilisé pour répondre tant au problème de l'identification objective et précise du risque qu'à la nécessité de sa prise de conscience par les élus et la population. Elles peuvent devenir un outil et s'exploiter sous forme de modélisation informatique. Une telle modélisation peut permettre une meilleure

connaissance du phénomène et faire apparaître les solutions à lui apporter, sa divulgation auprès du public étant le but à terme. A partir de données fictives, Robert B. Chevrou a réalisé un tel outil, parallèlement, l'I.N.R.A. mène des recherches dans le même sens à partir de données réelles.